

HFC 上行信道电磁干扰的分析与抑制*

倪祖荣, 郭东辉, 吴伯僖
(厦门大学物理系 厦门 361005)

摘 要: HFC 网络上行信道的容量与可靠性受电磁干扰噪声严重影响, 因此对干扰噪声的分析、检测与抑制是十分重要的课题。本文介绍了上行信道漏斗噪声的特性, 并通过设计陷波器和自适应滤波器对占主要成分的窄带侵入噪声进行抑制和消除。理论分析和 S-CDMA 调制技术下的仿真表明, 这 2 种方法是行之有效的。

关键词: 光纤同轴混合网; 电磁干扰; 自适应滤波器

Analysis and restraint of electromagnetism interference of upstream channel over HFC

Ni Zurong, Guo Donghui, Wu Boxi
(Department of Physics, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: The capacity and reliability of upstream channel over hybrid fiber-coax (HFC) network is susceptible to the electromagnetism interference noise. There is no doubt that much attention must be paid to the analysis, measurement and restraint of the noise. The characteristic of the noise-funneling in upstream channel was presented in the paper. The designment of notch filter and adaptive filter was introduced also, which restrained the major constituent, narrow-band ingress noise. Theory analysis shows the availability of such two kinds of filter, so does the simulative experiment, in which the modulation was carried out by synchronous CDMA.

Key words: hybrid fiber-coax; electromagnetism interference; adaptive filter

1 引 言

光纤/同轴电缆混合网(HFC)是解决信息高速公路最后 1 km 宽带接入网的较好方式。它以原有有线电视(CATV)网为基础, 由光纤和同轴电缆构成具有双向传输功能的宽带接入网, 使 CATV 网络成为未来宽带综合业务网的重要基础。其频带按非对称方式进行分割: 其中 5~40 MHz 用于上行信道的回传业务, 45~550 MHz 用于下行广播模拟及数字传输, 550~750 MHz 用于压缩电视及数字业务, 而 750 MHz 以上的频段则保留为其他业务和系统升级所用。由于其下行信道的传输方式为广播方式, 因此具有良好的传输特性和较高的信噪比, 完全可以达到通

信传输的技术指标要求^[1]。然而上行回传通路中, 虽然 5~40 MHz 是具有良好衰减特性的低频部分, 但同时也是一个受电磁干扰严重污染的频带, 且回传通信共享特性产生了噪声漏斗效应。这些噪声由多种成份组成, 具有很大的随机性和持久性, 对其特性进行分析和抑制是国内外研究的热点^[2-7]。

2 上行信道噪声的分析与检测

HFC 网络的同轴电缆处在复杂的电磁场环境中, 除了由于 HFC 网络线路结构引起的噪声, 如电阻、分级放大器热噪声、散粒噪声以及分支器、分配器等无源器件的衰减、失配带来的内部噪声外, 还存在外部电磁干扰产生的侵入噪声, 如短波无线电广播、

* 基金项目: 国家基金、福建省基金资助项目。

寻呼台电波、家用电器干扰等,这些电磁干扰的频谱覆盖了 HFC 上行信道的频段,通过网络蔽罩的任何一个缺口侵入系统,对 HFC 网络上行通道形成干扰。根据电磁干扰的频谱性质不同可划分为窄带侵入噪声以及脉冲型侵入噪声。

2.1 窄带侵入噪声

由于频谱相近的原因,窄带侵入噪声主要是由窄带短波信号组成,在用户处或在分配电缆处耦合入回传信道所形成的。其相位和幅度是随时间作缓慢变化,“漏斗效应”的聚集使得在前端形成较强的干扰信号,对用户上行信号的质量产生较大影响。而且窄带侵入噪声所占用的频段很窄,通常只有几十 kHz,对采用 TDMA 传输方式的干扰尤为严重,回传通道中少量的窄带干扰就能造成很大的误码率,成为影响 HFC 网通信质量的主要原因之一。图 1 是利用频谱仪在 HFC 前端检测到未传输数据时上行通道的功率电平和前端准确识别信号要求的数据信号功率电平,可以看到几个明显的窄带干扰。

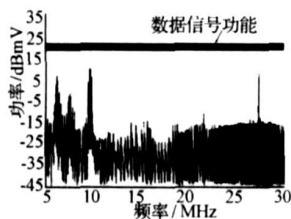


图 1 上行信道窄带干扰和数据信号功率^[5]

2.2 脉冲噪声干扰

脉冲噪声产生的电磁干扰是由于突发脉冲产生的强磁场耦合进入 HFC 上行通道。绝大多数脉冲噪声是由人造源产生,如发动机点火、电器的开关、计算机等数字设备的使用,这些噪声的频率范围落在 5~40 MHz 中。此外自然界的脉冲噪声源包括闪电、大气放电等感应干扰,其频谱很宽,从 2 kHz 伸展到 100 MHz。宽带冲击干扰的特点是具有偶然性、幅度大、持续期短、频带宽等特点。

为了观测脉冲噪声对 HFC 上行信道的影响,可将频谱仪设置在峰值检测和零扩展(调幅检测)方式,对上行信号进行观察。不同的持续时间使脉冲噪声干扰表现为瞬时尖峰信号或本底噪声电平的改变。图 2 显示短时尖峰信号对正常信元的干扰显然当干扰信号足够强时,将增加信元信号的误码率。

在实际的回传信道中,电磁干扰产生的噪声很大部分都是由窄带侵入噪声所引起的,而同一外界干扰源在不同的回传信道中所引起的噪声通常都是相关

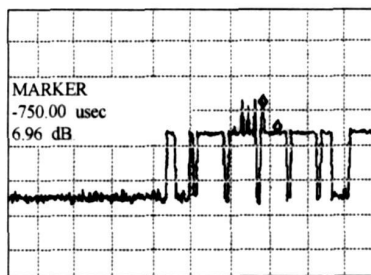


图 2 受脉冲噪声影响的上行信元^[8]

的,对整个回传信道的通信质量产生极大的负面影响,使上行信道的信噪比远远低于下行信道信号传输时的信噪比,从而引起在前端接收到的用户的信号的误码率上升,并影响到整个网络的正常运行。因此,如何抑制上传信道窄带侵入噪声成为克服外界电磁干扰,提高 HFC 系统质量性能指标的关键因素。

3 上行信道窄带噪声的抑制

对窄带干扰信号进行抑制的传统方法是使用能调整干扰频率的固定陷波器^[9]。用 Parks & McClellan 迭代算法计算出最优等纹波 FIR 滤波器的阶数和各段频带权重,再用切比雪夫最佳一致逼近设计多带线性相位 FIR 滤波器。图 3 是上行信号是在采用同步码分多址(S-CDMA)复用方式下,利用 MATLAB 仿真模拟受窄带信号干扰时的功率谱图。其中的窄带干扰信号 $i(n)$ 用式(1)模拟:

$$i(n) = R(n) \cos(\omega_0 n + \phi(n)) \quad (1)$$

式中: $R(n)$ 和 $\phi(n)$ 分别表示随机包络和相位,它们的变化比较缓慢,分别满足瑞利分布和均匀分布。

图 4 是固定频率的等纹波 FIR 陷波器频谱图,图 5 是经过陷波器滤波后的功率谱,可以看到窄带信号已经得到抑制。

如果要求陷波器非常陡峭,而窄带信号变化很慢,这时就需要应用自适应方法来消除噪声。基于时域的窄带干扰抑制技术的基本思想就是利用窄带信号和宽带信号在可预测性上的差异而达到抑制窄带干扰的目的^[5]。一般说来,直扩信号和热噪声信号都是宽带信号,功率谱趋近白噪声,故样值之间几乎不相关,不能根据过去样本值进行预测的,而窄带干扰信号是非高斯的,样值间有很强的相关性,可以从过去样值来估计当前样值。

当接收信号同时包含宽带有用信号和窄带干扰时,则对接收信号进行预测时,主要是窄带信号的预测值。所以解扩之前从当前信号中减去预测值,将大大减小接

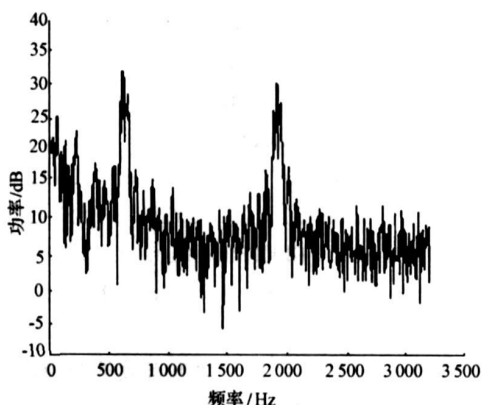


图3 受窄带干扰的 S-CDMA 信号功率谱

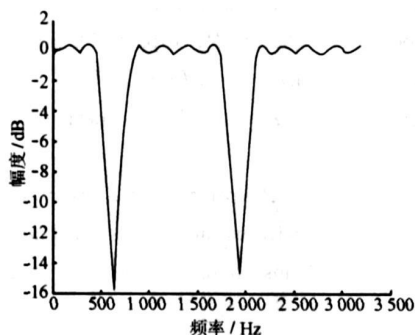


图4 固定频率的陷波器

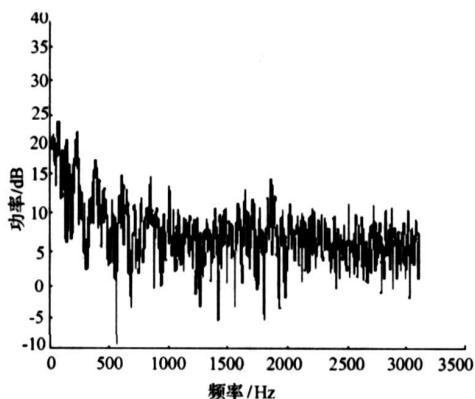


图5 经过陷波器后信号的功率谱

收信号之中的窄带干扰。在有关信号特征的完整信息不能得到的环境下, 自适应滤波可以在时域得到满意的滤波结果。根据抑制滤波器系数估计方法的不同, 时域窄带干扰抑制技术又主要分为线性预测自适应滤波和非线性预测自适应滤波^[9]。本文拟采用归一化最小均方(LMS)算法的线性预测自适应滤波, 是因为其具有设计简单, 性能却高度有效的优点。

LMS 线性预测滤波器就是以横向滤波器结构为基础构建的, 图6为滤波器模型。它可以看成是一个闭环反馈系统, 其基本输入为:

$$d(n) = s(n) + i(n)$$

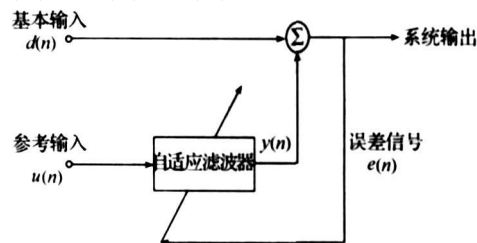


图6 线性预测模型

式中: $s(n)$ 是承载信息的信号; $i(n)$ 即为前述的窄带干扰模型。参考输入的角频率与 $i(n)$ 相同:

$$u(n) = A \cos(\omega_0 n + \phi)$$

如果使用实数形式的 LMS 算法, 则自适应滤波器的抽头权值更新如下:

$$y(n) = \sum_{i=0}^{M-1} \hat{w}_i(n) u(n-i)$$

$$e(n) = d(n) - y(n)$$

$$\hat{w}_i(n+1) = \hat{w}_i(n) + \mu u(n-i) e(n), i = 0, 1, \dots, M-1$$

式中: μ 为步长参数, 越小陷波越陡峭。

忽略 z 变换的时变部分, 其闭环转移函数 $H(z)$ 为:

$$H(z) = \frac{E(z)}{D(z)} = \frac{z^2 - 2z \cos \omega_0 + 1}{z^2 - 2(1 - \text{LMS}^2/4)z \cos \omega_0 + (1 - \text{LMS}^2/2)}$$

上式为二阶数字陷波器的 z 变换, 其陷波点即为角频率 ω_0 。仿真结果如图7所示, 自适应滤波可以很好地消除窄带干扰。

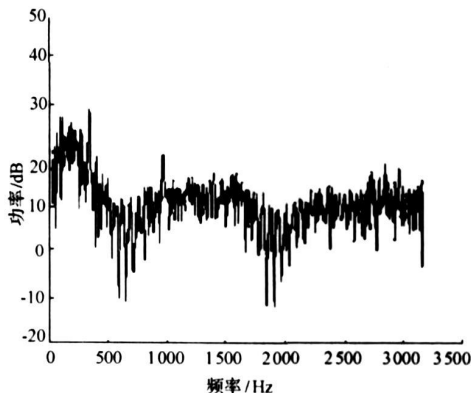


图7 经过自适应滤波后的信号功率谱

4 实验分析

LMS 自适应滤波器可以像陷波器一样工作, 其

零值点由窄带干扰的角频率 ω_0 决定, 因此自适应滤波器是可调的, 其调谐频率随 ω_0 而变。另为可以通过选择足够小的 μ , 使得滤波器频率响应的陷波处在窄带干扰外很陡峭, 也就是说滤波器的频率响应是可控制的。

5 结 论

HFC 系统上行信道中由于电磁干扰存在着严重的噪声和干扰, 窄带侵入噪声是主要的影响因素, 对其进行有效测量和抑制是保证 HFC 网络开展各种交互式业务时物理层可靠传输的保证。理论分析和仿真表明, 利用自适应滤波的方法可以很好地消除窄带干扰。

参考文献

- [1] IEEE Project 802. 14/ a Draft 3 Revision1 [Z]. IEEE802. 14 Committee, 1998.
- [2] R P C. Wolters characteristics of upstream channel noise in CATV networks [J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 1996, 42(4): 328-332.
- [3] HAELVOET K. Link-level effect of a noisy channel over data transmission on the return path of an HFC network [J]. Microwave Symposium Digest, IEEE MTT-S International, 1998, 3: 1207-1210.
- [4] CARRO B. Procedure for measurements and statistical processing of upstream channel noise in HFC networks [J]. Global Telecommunications Conference, 2001. GLOBECOM' 01. IEEE2001, 1: 425-429.
- [5] CHARLES A, ELDERING, etc. CATV return path characterization for reliable communications [J]. IEEE Communications Magazine. 1995, 33(8): 62-69.
- [6] 李蔚东. HFC 网络回传通道有效抑制噪声的方法 [J]. 广播与电视技术, 2006, 33(4): 101-102.
- [7] 黄小敏. HFC 网络回传噪声实际测试及分析 [J]. 有线电视技术, 2005, 23: 28-30.
- [8] ComUNITY Access Participant s Guide and Workbook [Z]. Release2. 4 , Com21, Inc.
- [9] Simon Haykin Adaptive Filter Theory (4th) Prentice Hall, 2002.
- [10] MAYYAS K. Performance analysis of the deficient length LMS adaptive algorithm [J]. Signal Processing, IEEE Transactions on. 2005, 53(8): 2727-2734.

(上接第 342 页)

物理层的硬件构成, FPGA 和 DSP 程序设计。大部分任务采用全 DSP 实现, 具有开发周期短的优点。

物理层在 863 项目大力支持的综合测试仪项目中是实现难点, 该方案发挥了重要作用, 顺利通过了专家组验收。该综合测试仪已经被无线电管理委员会、MTNET 和众多厂商广泛采用, 推动了 TD 产业发展。

目前, 在该方案基础之上, 经过改进, 系统仿真器进一步具备了支持 HSDPA 终端测试的能力。今后将继续研究设计以支持终端协议一致性测试和多模终端测试。

参考文献

- [1] 宋起柱. TD-SCDMA 终端射频测试技术研究 [J]. 中国

无线电, 2006, 4: 36-43.

- [2] 魏然. TD-SCDMA 终端一致性测试系统研究开发 [J]. 电信科学, 2006, 5: 42-45.
- [3] 翁志恒. GSM/WCDMA 双模手机测试系统 PC 部分的软件设计 [J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(8): 515-517.
- [4] 杨洪生. WCDMA 基站下行专用信道基带处理模块的一种三阶段前向流水式实现方案研究 [J]. 通信学报, 2003, 24(3): 98-104.
- [5] 宋挥师. WCDMA 系统中下行链路业务复用的 DSP 快速实现方案 [J]. 无线通信技术, 2003, 2: 5-9.
- [6] 李方慧. TMS320C6000 系列 DSPs 原理与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.